

**DER DIAGNOSTISCHE WERT
THERMOGRAPHISCHER UNTERSUCHUNGEN
DES KNIEGELENKES**

Michael Prossinger

1977



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41555625_0064

Aus der Orthopädischen Klinik und der Orthopädischen
Poliklinik der Universität München
(Direktor: Prof. Dr. A.N. WITT)

DER DIAGNOSTISCHE WERT
THERMOGRAPHISCHER UNTERSUCHUNGEN DES KNIEGELENKES

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin
an der Ludwig Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Michael Prosinger
aus
Burgau/Schw.

München 1976

Mit Genehmigung des Fachbereichs der Medizin
der Universität München

Referent: Priv. Doz. Dr. W. KEYL

Koreferent: Prof. Dr. A.N. WITT

Dekan: Prof. Dr. W. SPANN

Tag der mündlichen Prüfung: 14.4.1977



INHALTSVERZEICHNIS

I.	Einleitung	1
II.	Grundlagen der Thermographie	
	1. Definition des Begriffes	2
	2. Geschichte und Anwendungsbereiche in der Medizin	2
	3. Physikalische Grundlagen	4
III.	Methodik	
	1. Aufbau des Gerätes	7
	2. Anordnung der Apparatur	8
	3. Untersuchungsablauf	9
IV.	Ergebnisse	
	1. Beobachtungsgut	11
	2. Thermographie des gesunden Kniegelenkes ..	12
	3. Thermographie des erkrankten Kniegelenkes.	14
V.	Diskussion	24
VI.	Zusammenfassung	41
VII.	Literaturverzeichnis	42
Anhang:	Lebenslauf	

I. EINLEITUNG

Das Kniegelenk ist einer klinischen Untersuchung relativ leicht zugänglich. Erkrankungen in diesem Gebiet sind daher in den meisten Fällen nosologisch einzuordnen. Dennoch treten Fälle auf, die auch durch die Anwendung von Zusatzdiagnostik nicht befriedigend zu klären sind.

Seit die Körperoberflächentemperatur mit Hilfe der Thermographie exakter erfaßt werden kann als dies durch bloßes Handauflegen oder durch die Kontaktthermometrie möglich ist, stellt sich die Frage, welche klinische Bedeutung die Methode der Thermographie besitzt in der Diagnostik und Verlaufsbeobachtung von Krankheitsprozessen im Bereich des Kniegelenkes.

II. GRUNDLAGEN DER THERMOGRAPHIE

1. Definition

Thermographie ist die Darstellung von Oberflächentemperaturen in der Form eines Wärmebildes. Es wird dabei die Temperatur gemessen aufgrund der Infrarotstrahlung, die von jedem Körper ausgeht (L. BECKMANN, 1967).

2. Geschichte und Anwendungsbereich in der Medizin

Die direkte Wärmemessung als diagnostisches Hilfsmittel kannte bereits HIPPOKRATES (ca. 400 v.Chr.), der mit Hilfe der Hand die heißeste Körperstelle als Ort des Krankheitsherdes suchte. Erstes technisches Hilfsmittel war das Thermoskop von GALILEI (1564-1642), das von SANCTORIUS im 17. Jahrhundert verwendet wurde. Im 18. Jahrhundert baute FAHRENHEIT brauchbare Thermometer, die um 1850 durch C.A. WUNDERLICH Eingang in die ärztlichen Routinemessungen fanden.

Den Zusammenhang zwischen Hauttemperatur und Infrarotabstrahlung erkannten R. COBET und F. BRAMIGK (1924); ihr klinisch brauchbares Verfahren wurde weiterentwickelt von I.D. HARDY (1934), dessen "Radiometer" sich in der Praxis aber nicht gegenüber den bewährten Kontaktmethoden durchsetzen konnte. Die verschiedenen Methoden der Kontaktmessung erfassen nur einen kleinen Hautbezirk. Außerdem sind die Ergebnisse stark beeinflussbar durch Auflagedruck wie durch Einwirkungen der Umgebungstemperatur.

Die im militärischen Bereich fortentwickelte Infrarottechnik fand durch R.N. LAWSON (1957) Eingang in die medizinische Diagnostik. Erstmals konnte hier die Infraroteigenstrahlung größerer Körperbezirke gemessen und bildlich dargestellt werden. Heute existieren verschiedene Gerätetypen mit unterschiedlichen Anwendungsbereichen.

Neu ist die von K.L. WILLIAM (1966) und von J. TRICOIRE (1967) entwickelte Plattenthermographie. Hierbei ändert sich in Abhängigkeit von der Temperatur die Molekülbeschaffenheit eines Kristallgemisches, und daraus resultieren Farbänderungen der Aufnahmeplatte, so daß auch kurzfristige Änderungen im Temperaturverhalten der Körperoberfläche verfolgt werden können.

Ihre ersten Erfahrungen über die klinische Verwendbarkeit der Thermographie publizierten J. GERSHON-COHEN und Mitarbeiter (1964, 1965), P.I. BRANEMARK (1966), Ch. GROS und Mitarbeiter (1967), N.J. M. AARTS (1967), G. NOTTER und O. MELANDER (1968) und A. GANSSEN (1971).

Die Thermographie findet Anwendung bei der Darstellung der Planzen-ta, der Verifizierung peripherer Kreislaufstörungen, neuerdings verstärkt in der Dermatologie und Neurologie. Als erfolgreiche Zusatzmethode werden Thermographieuntersuchungen bei der Suche nach Mammfrühkarzinomen durchgeführt (H.J. ISARD u.a. 1972).

Berichte über die Anwendung der Thermographie in der Orthopädie liegen vor von S.M. ALBERT (1964), C. FARREL u.a. (1967), D.MÖRS-DORF und K.H. KÄRCHER (1968), L. HENKEL und D. WATMOUGH (1969), A. VIITANEN (1970), E. KOOB und F. SCHLEGEL (1971) und von H. POSER (1971).

Aus der Orthopädischen Klinik der Universität München gibt es eine Reihe spezieller Arbeiten:

Thermographische Untersuchungen bei P.C.P. (F.H. THALMANN 1972), bei ischialgischen Durchblutungsstörungen (H. TRÖGER 1972), bei Chondropathia patellae (W. KEYL und K. VIERNSTEIN 1972), nach Immobilisation im Gipsverband (W. HALBECK 1974), bei Tumoren (W. FRANKE 1974, W. KEYL und G. HÖR 1974), bei Ausfällen peripherer Nerven (H.P. EUBSER i.Vorb.), bei Erkrankungen der oberen Extremität (Ch. MAHL i.Vorb.), bei Erkrankungen der unteren Extremität mit Ausnahme des Kniegelenkes (W. PSCHORR i.Vorb.) und bei Sportverletzungen des Bewegungsapparates (W. KEYL und P. LENHART 1975).

3. Physikalische Grundlagen

Jede Fläche gibt eine Strahlung mit einer bestimmten spektralen Verteilung ab. Die abgestrahlte Energie hängt von Temperatur und Emissionsvermögen ab.

Die Temperatur ist ein übergeordnetes Maß für die auf atomarer Ebene ablaufenden ungeordneten Molekülbewegungen. Diese verursachen aufgrund ihrer elektromagnetischen Eigenschaften eine elektromagnetische Wellenabstrahlung. Je nach Geschwindigkeit der Moleküle ergibt sich die Verteilung der Energie auf die ausgesandte Strahlung.

Drei Gesetze sind in diesem Zusammenhang zu besprechen:

1. Nach dem STEFAN-BOLTZMANNschen Gesetz ist die über alle Wellenlängen integrierte spezifische Ausstrahlung proportional der vierten Potenz der absoluten Temperatur, d.h. die spezifische Ausstrahlung nimmt mit abnehmender Temperatur stark ab.
2. Aus dem WIENschen Verschiebungsgesetz $\lambda \cdot T = \text{const.}$ folgt, daß das Strahlungsmaximum sich mit abnehmender Temperatur zu den größeren Wellenlängen, also zum infraroten Bereich hin verschiebt.
3. Nach dem PLANCKschen Strahlungsgesetz läßt sich der Wellenbereich und das Intensitätsmaximum eines strahlenden Körpers ermitteln.

Diese Gesetze gelten für einen idealen Strahler, den sogenannten "Schwarzen Körper". In der Praxis muß neben der Temperatur noch das oben schon erwähnte Emissionsvermögen des Körpers beachtet werden. Für die Untersuchung des menschlichen Körpers ergibt sich:

1. Da die Haut sich in dem für die Messung in Frage kommenden Bereich der spektralen Skala praktisch wie ein "Schwarzer Körper" verhält (K. BUCHMÜLLER, 1965), sind die obigen Gesetze anwendbar. Ausnahme: Bei feuchter Haut ist das Emissionsvermögen stark herabgesetzt; Messungen dürfen also nur bei trockener Haut vorgenommen werden (W. KROEBEL, 1965).
2. Die Hauttemperatur beträgt bei einer Umgebungstemperatur von 23°C am Rumpf 33°C, an den Extremitäten 25°C bis 30°C (HARDY und DUBOIS 1938). Nach STEFAN-BOLTZMANN ist daher die spezifische Ausstrahlung sehr niedrig. Es ist also ein Gerät zu kon-

struieren, das eine hohe Empfindlichkeit besitzt.

3. Nach dem WIENSchen und PLANCKSchen Gesetz befindet sich das Strahlungsmaximum der Haut bei der Wellenlänge von $9,7\mu\text{m}$ (der Infrarotbereich reicht von $1,5\mu\text{m}$ - $20\mu\text{m}$). In diesem Bereich muß die Aufzeichnung also in erster Linie geschehen. Die Infrarotphotonen haben eine rund 20mal größere Wellenlänge als das sichtbare Licht ($\lambda = 0,5\mu\text{m}$), ihre Energie ist nach dem Gesetz $q = h \cdot c / \lambda$ 20mal schwächer, eine direkte Filmbelichtung ist daher nicht möglich (L. BECKMANN, 1967). Der eingehende Impuls muß verstärkt werden; er wird dazu in einen elektrischen Impuls umgewandelt, der hochtransponiert und in Licht umgewandelt wird, das schließlich auf die Fotoplatte gelangt und sie schwärzt (J. GERSHON-COHEN, 1965).

Zwei Arten von Detektoren, die die Impulse aufnehmen, finden in den heutigen Geräten Anwendung (A. GANSSEN, 1971):

1. Thermisch nicht selektive Detektoren, die nach dem Prinzip der elektrischen Widerstandsänderung funktionieren; sie bedürfen einer Eigenerwärmung durch die auftreffenden Infrarotstrahlen und sind daher relativ träge. Um gute Bildqualitäten zu erzielen, die man durch ein Auflösungsvermögen von 10.000 bis 100.000 Bildpunkten erreicht, benötigt man einige Minuten. Dagegen kann mit einer großen spektralen Bandbreite gearbeitet werden (Thermograph, System "BARNES").
2. Infrarotquantendetektoren, bei denen aktivierte Kristalle die Impulse aufnehmen, sind dagegen schnell: Die Abtastzeiten liegen unter einer Sekunde. Ihre große Empfindlichkeit ist aber nur in einem geringen Spektralbereich wirksam; ein gesteigerter technischer Aufwand ist notwendig, denn die Kristalle müssen zum Betrieb mit flüssigem Stickstoff oder Helium gekühlt werden (LEP-, BOFORS-, AGA-Kameras).

Die Anforderungen an die Geräte lassen sich in folgender Formel zusammenfassen (L. BECKMANN, 1967):

$$\frac{\Delta T_{\text{Äq}} \sqrt{t - t_0}}{n} = \frac{1}{D_p^x \cdot N_{\text{eff}} \cdot \delta v} \cdot \frac{f}{\sqrt{2 B p A_0}}$$

Es bedeuten hierin:

- $\Delta T_{\text{äq}}$ = Rauschäquivalente Temperaturdifferenz, das ist die Temperaturdifferenz, die ein Signal von gleicher Größe liefert, wie das Rauschen des Infrarotdetektors
- n = Zahl der Bildpunkte
- t = Aufnahmedauer
- t_0 = Totzeit
- D_p^x = Detektivität des Infrarotdetektors
- N_{eff} = Effektive Strahlungsdichte, Radianz des Objektes
- δv = relative Änderungen der effektiven Strahlung pro Grad Temperaturänderung
- f = Brennweite der Optik
- B = Bild-Raumwinkel
- p = Wirkungsgrad der Optik
- A_0 = Eintrittsapertur

In dieser Gleichung sind die Größen, die ein thermographisches System kennzeichnen, in drei Gruppen geordnet: Auf der linken Seite die Betriebsdaten, die den Benutzer interessieren, nämlich Auflösung und Abtastzeit eines Bildes. Auf der rechten Seite gibt die erste Gruppe die spektrale Empfindlichkeit des Detektors und seine Güte, die zweite Gruppe die optischen Daten des Gerätes wieder.

Will man eine möglichst gute Abbildung, so versucht man, den Ausdruck auf der rechten Seite klein zu halten. Die Faktoren sind untereinander abzuwägen, so erniedrigt sich zum Beispiel die Zahl der Bildpunkte bei Halbierung der Aufnahmezeit um den Faktor vier, da die Zeit mit der Wurzel eingeht.

Die Infrarotthermographie unterscheidet sich also grundsätzlich von der Infrarotphotographie. Während bei der Thermographie die natürliche Strahlenemission verarbeitet wird, werden bei der Photographie die vom Körper reflektierten Infrarotstrahlen abgebildet (W. KEYL und P. LENHART, 1975).

III. METHODIK

1. Aufbau des Gerätes "System Barnes"

In der Orthopädischen Klinik der Universität München wurde zur thermographischen Untersuchung ein Thermograph der Firma "Barnes Engeneering Comp., Stanford Conn." eingesetzt. (Der Thermograph wurde von der Stiftung Volkswagenwerk zur Verfügung gestellt).

Es handelt sich um einen der schon lange erprobten Typen, und stellt eine Weiterentwicklung des einfachsten Infrarotdetektors, des Bolometers, dar. Der Bolometer konnte nur Hautareale von 1qcm erfassen, während der BARNES-Apparat eine direkte Gesamtdarstellung der Oberflächentemperatur wiedergibt. Er besitzt Detektoren nach dem oben beschriebenen thermisch nichtselektiven Typ. Die Temperaturlösung liegt bei 0,08°C, die Punktaufnahmen erfassen 1mm auf 1mm. Die geometrische Auflösung von ca. 60.000 Bildpunkten und eine Aufnahmezeit von etwa vier Minuten garantieren hochwertige Meßergebnisse (R.B. BARNES, 1963 und H.van VOSS, 1967). Der Planspiegel des Gerätes erfaßt von der zu untersuchenden Person einen Bildausschnitt von 20° Breite und 10° Höhe, das bedeutet bei einem Abstand des Gerätes von etwa zwei Metern einen Untersuchungsbereich von etwa einem auf einen halben Meter. Der Planspiegel ist um 45° geneigt (stufenlos verstellbar) und wirft die ausgesandte Strahlung in den eigentlichen Thermographen. Das Objekt wird deshalb seitenverkehrt abgebildet.

Über einen Kollimatorspiegel, der als bewegliches Element den Untersuchungskörper Zeile für Zeile abzutasten vermag, wird der Strahl auf den Detektor fokussiert. Zur Erzeugung einer Wechselspannung, die leicht transformierbar ist, durchläuft der Strahl auf diesem Weg einen rotierenden Chopper. Der vom Detektor ausgehende Impuls wird verstärkt, gleichgerichtet und gelangt zu einer Glühlampe mit Hohlkathode, die nun im Takt mit den einfallenden Signalen ihre Helligkeit variiert. Dieses Licht wird von einem Abtastspiegel auf eine photographische Platte geworfen und dort zu einem Bild zusammengesetzt.

Auf diesem Bild = Thermogramm erscheinen kalte Körperzonen als schwarze Bildbereiche, zunehmende Körpertemperatur drückt sich in

steigender Helligkeit des Bildes aus, so daß die warmen Zonen als weiße Bildbereiche imponieren.

Der Thermograph benötigt zur vollen Funktionstüchtigkeit eine Anheizzeit von 25 Minuten.

2. Anordnung der Apparatur

Die Untersuchung findet in einem Raum von etwa sechs Meter Länge und vier Meter Breite statt. Die Beleuchtung spielt für den Untersuchungsvorgang keine Rolle. Die Temperatur des Raumes wird konstant auf 19°C bis 20°C gehalten. Unterhalb dieses Bereiches klagen die Patienten über die Kühle; nervöse Patienten vermögen dann nicht, sich die Untersuchungszeit über ruhig zu verhalten. Oberhalb von 21°C treten Regulationsmechanismen des Körpers in Erscheinung (J. ASCHOFF, 1958), die die Körpertemperatur durch Änderung der Emissionskonstanten verfälschen (W. KRÖBEL, 1965).

Die Luftfeuchtigkeit liegt bei 30% bis 60%.

Über einer Liege, auf der der Patient liegend untersucht wird, befindet sich im Abstand von 60cm ein Spiegel, der - beweglich und verstellbar - die vom menschlichen Körper ausgesandte Wärmestrahlung in den Thermographen umlenkt.

Eine Grauskala wird in der Nähe der zu untersuchenden Körperpartie gelegt. Sie stellt ein Eichsystem dar und muß bei jeder Aufnahme mit abgebildet werden. Zehn quadratische Felder aus Metall werden hier auf Temperaturen von 29,45°C bis 37,38°C in einer Differenz von 0,9°C aufgeheizt.

Auf einem mittels Rollen beweglichen Dreifuß ist der Thermograph befestigt. Er besteht aus den oben beschriebenen Einheiten, ferner den Kontrollanzeigen und den Vorrichtungen zur Einstellung der Bildschärfe, des Meßbereiches und des Kurvenmaßstabes.

Die Kontrollanzeigen können auch über einen an den Thermographen angeschlossenen Kathodenstrahloszillographen verfolgt werden. Erst mit dessen Hilfe sind optimale Geräteeinstellungen möglich. Er liefert "Thermoprofilkurven", die abfotographiert oder von einem mitlaufenden EKG-Schreiber aufgezeichnet werden können (J. GERSHON-COHEN, 1965). Dies sind Kurven, die einen linearen Abtastvorgang darstellen, und die daher wesentlich genauer das momentane Wärmemuster zeigen können als das gesamte Thermogramm.

Ein Photokomparator dient zur Umwandlung der erhaltenen Hell - Dunkel - Schattierungen in absolute Temperaturwerte, wobei die mitfotographierte Grauskala als Eichsystem dient. Er ermöglicht es außerdem, die Temperaturdifferenzen in absoluten Zahlen anzugeben, sowohl jene zwischen Krankheitsherd und gesundem Gewebe als auch jene zwischen entsprechenden kontralateralen Körperpunkten.

3. Untersuchungsablauf

Nach Erfragung seiner Personalien entkleidet sich der Patient. Bei Aufnahmen des Knies ist ein Ablegen der kurzen Unterbekleidung nicht erforderlich, solange nicht durch abschnürende Wäsche Änderungen der Blutzirkulation und damit in der Wärmeverteilung auftreten könnten. Der Patient legt sich in Rückenlage auf die Untersuchungsfläche, die Beine in mittlerer Rotationsstellung. Zwischen die Unterschenkel platziert man die Grauskala. Mindestens zehn Minuten Akklimationszeit sind erforderlich. Der Patient gewöhnt sich psychisch an die Umgebung, nervöse Einflüsse auf das Temperaturregelungssystem werden so eingeschränkt. Auch die physische Temperaturadaptation ist frühestens nach dieser Zeitspanne abgeschlossen (J. ASCHOFF, 1958 und J. KOPPELMANN, 1971). Die Erhebung der Anamnese gibt erste Anhaltspunkte für den Untersuchungsgang.

Der gewünschte Untersuchungsbereich wird durch Verschieben des Thermographen und durch Kippen des Spiegels über dem Patienten eingestellt. Ein Lichtpunkt, der den jeweiligen Abtastpunkt markiert, hilft bei der Einstellung des Untersuchungsfeldes wie auch bei der folgenden Schärfeneinstellung. Für die Einstellung des Meßbereiches wählt man bei der ersten Aufnahme stets einen Mittelwert. Es bewährte sich die Einstellung: Sensivity 40. Eine tiefere Einstellung bietet zu wenig Kontrast zwischen normaler und veränderter Oberflächentemperatur; durch eine höhere Einstellung werden zu viele Temperaturbereiche ausgeblendet. Dies erschwert die Orientierung und unterdrückt die Abbildung von nur dezenten Temperaturdifferenzen. Spätere Aufnahmen dienen durch Einengung der Meßbreite spezifischeren Ergebnissen. Nach Einlegen des Films ist das Gerät betriebsbereit.

Die Untersuchung dauert fünf Minuten inklusive der Entwicklungszeit des Filmes. Eine sofortige Beurteilung, Auswertung und Katalogisierung ist im Anschluß daran möglich.

Während die Bedienung des Gerätes durch technische Assistenten erfolgen kann, sollte die Auswertung nur von Ärzten vorgenommen werden (W. HOEFFKEN, 1973).

Die Beurteilung der Thermogramme stützt sich auf den Seitenvergleich zwischen gleichen Punkten der erkrankten und der gesunden Extremität. Gezielte Aussagen setzen eine genaue Kenntnis der anatomischen Verhältnisse und eine langdauernde Erfahrung voraus. Eine Bewertung ist nur möglich mit gleichzeitiger Kenntnis der Anamnese und eventueller anderer Untersuchungsverfahren.

IV. ERGEBNISSE

1. Beobachtungsgut und Auswertungsschema

In den Jahren 1970 bis einschließlich 1974 wurden von ambulanten wie stationären Patienten der Orthopädischen Klinik der Universität München insgesamt 480 thermographische Untersuchungen des Kniegelenkes durchgeführt. Jede Untersuchung wurde durch zwei bis vier Thermogramme dokumentiert.

Zur Einteilung des Untersuchungsgutes siehe Tabelle 1.

Tab. 1: Einteilung des Untersuchungsgutes

Personengruppe	n
1. Gesunde Vergleichsgruppe	150
2. Patienten mit diagnostisch gesicherten Erkrankungen des Kniegelenkes	168
a) Degenerativen Veränderungen	26
b) Traumatische Schäden	52
c) Entzündungen	54
d) Tumoren	8
e) Zustand nach Operationen	28
3. Patienten mit Erkrankungen unklarer Genese	162
Insgesamt	480

Thermogramme von Patienten mit nicht geklärten Erkrankungen (Gruppe 3 in Tabelle 1) werden in der folgenden Darstellung ausgeklammert.

Die Befundeinteilung erfolgte nach Umwandlung der Schattierungsdifferenzen in absolute Temperaturdifferenzen mit Hilfe des Photokomparators. Zur Befundeinteilung siehe Tabelle 2. ΔT gibt hier den Temperaturunterschied zwischen zwei gleichen kontralateralen Extremitätenpunkten wieder.

Tab. 2: Befundeinteilung

ΔT	Thermographischer Befund
$\pm 0,4^{\circ}\text{C}$	Normalbefund
$+ 0,5^{\circ}\text{C}$ bis $+ 1^{\circ}\text{C}$	Fraglich hypertherme Zone
über $+ 1^{\circ}\text{C}$	Sicher hypertherme Zone

Bei der Befundung spielt neben den absoluten Temperaturdifferenzen auch das Verteilungsmuster der Temperaturdifferenz einer Seite eine Rolle. Da dieses Verteilungsmuster variiert je nach Einstellung der Sensivity, wurden nur Bilder mit Sensivity = 40 verwendet, ein Wert, der erfahrungsgemäß den besten Überblick über das Temperaturmuster gibt.

2. Thermogramme des gesunden Kniegelenkes

Zur Beurteilung der Wärmeverteilung am gesunden Kniegelenk wurden 150 Personen untersucht.

Im Thermogramm zeigt sich eine große Variationsbreite in der Darstellung der Oberflächentemperaturverteilung. Ein Grundtyp läßt sich erkennen, wenn man die anatomischen Verhältnisse zum Vergleich heranzieht.

Bei der anterior-posterioren Ansicht projiziert sich im Bereich des Kniegelenkes nach vorne ja nur das Kniegelenk mit seinen Hilfseinrichtungen, alle Leitungsstränge liegen dorsal (T.v. LANZ/W. WACHSMUTH, 1938). Die Muskulatur erreicht allein medial die Höhe der Patellabasis (m.vastus tibialis), sie wird hier fortgesetzt durch Faserzüge des Retinaculum patellae tibiale und des Ligamentum collaterale tibiale. In der Mitte liegt die Patella, eingeschlossen als Sesambein in die Endsehne des m.quadriceps femoris, die als Ligamentum patellae an der Tuberositas tibiae ansetzt. Lateral liegt das Fasergeflecht des Retinaculum patellae fibulare und des Tractus iliotibialis wie des fibularen Kollateralbandes. Direkt unter diesen Strukturen liegt das Gelenk. Wir finden also nur Gewebe mit geringer Durchblutung und geringem Stoffwechsel unter der Haut des Knies.

Tatsächlich ist dieser Bereich hypotherm gegen das Gebiet des Oberschenkels (s.a. Abb. 1). Die Grenzlinie korreliert mit den Muskel-



Abb. 1: Thermogramm der gesunden unteren Extremität

Sehnen-Übergängen, so daß sich an der Innenseite ein schmaler hyperthermer Streifen hinzieht über der Muskulatur des m.vastus tibialis und des von der Seite herziehenden m.sartorius. Wahrscheinlich ist auch der Verlauf der v.saphena magna in diesem Bereich nicht ohne Einfluß auf dieses Temperaturmuster.

Gegen den Unterschenkel, der wieder relativ stark erwärmt erscheint, setzt sich das Knie in nach unten konvexem Bogen ab. Über der Tibia bleibt die hypotherme Zone am weitesten nach distal erhalten.

3. Thermogramme des erkrankten Kniegelenkes

a) Degenerative Veränderungen des Kniegelenkes

Thermographisch untersucht wurden 26 Patienten mit degenerativen Erkrankungen des Kniegelenkes.

Dabei litten acht Patienten an Chondropathia patellae, fünfzehn an Arthrosis deformans, einer an Osteochondrosis dissecans und zwei an M. Schlatter.

Die Diagnose der Chondropathia patellae wurde durch die klinische Symptomatik vor allem gestellt:

Es fanden sich tief im Gelenk sitzende Schmerzen, es trat meist ein seröser Gelenkserguß auf, der neben der Kapselschwellung für die Verdickung des Gelenkes verantwortlich ist.

Eine Hyperthermie tritt in sieben Fällen auf (s.Tab. 3). Die Temperatur ist nur geringgradig erhöht, die wärmsten Herde finden sich streifenförmig an den seitlichen Patellarändern, lateral weniger ausgeprägt als medial. Der obere Patellarand ist regelmäßig unauffällig, d.h. normotherm.

Eine Patientin mit hyperthermen Befund wurde nach Therapie, die in mehrwöchiger Immobilisation in einer Gipshülle bestand, erneut thermographiert. Jetzt fanden sich keine Zeichen mehr für eine pathologische Überwärmung.

Tabelle 3: Thermographischer Befund bei degenerativen Erkrankungen des Kniegelenkes

Erkrankung	Hypertherme Zonen		Normal- befund	Gesamt- zahl
	sicher	fraglich		
Chondropathia pat.	2 (25%)	5 (62,5%)	1 (12,5%)	8
Arthrosis def.	10 (66%)		5 (34 %)	15
Osteochondrosis dissecans	1 (100%)			1
M. Schlatter	2 (100%)			2

Die Fälle von Gonarthrosis deformans waren röntgenologisch gesichert, die Fälle waren gestreut von Stadium I bis Stadium IV nach JONASCH.

Die Bilder von Patienten, die eine sekundäre Gelenkschwellung, z.T. mit Entzündung zeigen, werden im Abschnitt: Entzündungen besprochen; die durch die Arthrose eventuell bedingte Änderung im Thermogramm wird durch die Entzündungszeichen überlagert.

Fünfzehn Patienten wurden untersucht, in zehn Fällen zeigt sich eine Überwärmung des Kniegelenkes im Thermogramm. In Übereinstimmung mit der röntgenologisch sichtbaren Randwulstbildung (W. DIHLMANN, 1973) erscheint ein Hyperthermiesaum rings um die Patella mit Ausnahme des oberen Randes. Mediale und distale Anteile sind wie bei der Chondropathia patellae am wärmsten (vgl. Tab. 3).

Bei fünf Patienten trat keine Überwärmung zu Tage. Vier Patienten besaßen arthrotische Veränderungen an beiden Kniegelenken. Auch sie zeigen Temperaturdifferenzen zwischen sich entsprechenden Punkten der Extremitäten, wobei die Seite mit der weiter fortgeschrittenen Arthrose deutlich wärmer scheint.

Der Fall von Osteochondrosis dissecans wurde röntgenologisch diagnostiziert.

Thermographisch erscheint das Hautgebiet über dem Kniegelenk diffus überwärmt. Wärmeherde sind nicht erkennbar (vgl. Tab. 3)

Zwei Fälle einer aseptischen Nekrose der Tibiaapophyse wurden

röntgenologisch diagnostiziert.

Beide Thermogramme zeigen eine deutliche diffuse Überwärmung des Kniegelenkes.

b) Traumatische Verletzungen des Kniegelenkes

Thermographisch untersucht wurden 52 Patienten mit traumatischen Verletzungen im Bereich des Kniegelenkes.

Dabei litten 30 Patienten an einer Innenmeniskus-, drei an einer Innenband-, sechs an einer Außenmeniskus-, drei an einer Außenband- und zwei Patienten an einer Kreuzbandverletzung. Vier Patienten hatten eine Prellung im Bereich des Knies, drei eine Patellafraktur, ein Patient einen Quadrizepssehnenabriß.

Dreißig Patienten mit Innenmeniskusläsionen wurden vor der konservativen bzw. operativen Behandlung thermographisch untersucht. Die Diagnose ergab sich aus dem Operationsbefund oder war durch die klinischen Zeichen oder Arthographie-Befunde gestellt.

Zwei Patienten hatten ein Rezidiv. Das Bild konnte wegen der postoperativen Änderungen im Wärmeverhalten der Haut nicht bewertet werden.

Bei acht Patienten trat kein vom Normalen abweichender thermographischer Befund auf.

Achtzehn Patienten zeigten Wärmeänderungen an bestimmten Stellen, die bei vier Patienten typisch ausgeprägt erschienen (vgl. Tab. 4 und Abb. 2):

Die Patella und der Bereich über dem Ligamentum patellae sind immer hypotherm, gleichfalls lateraler und kranialer Patellarrand. Ein deutlich hyperthermer Bezirk erstreckt sich streifenförmig von hinten nach vorne laufend im Projektionsfeld des mittleren Gelenkspaltes. Bei zehn Patienten erscheint, wenn auch nicht so deutlich abgesetzt, ein weiterer Überwärmungsherd in der Projektionsstelle des Ecks zwischen Ligamentum patellae und dem medialen Patellarrand.

Bei einem Patienten traten zu diesen Abweichungen vom normalen Wärmebild noch Anzeichen im Thermogramm auf, die durch das Vorhandensein einer Entzündung erklärt werden könnten (vgl. unten).



Abb. 2: Thermogramm eines Innenmeniskusschadens links

Tabelle 4: Thermographischer Befund bei traumatischen Verletzungen im Bereich des Kniegelenkes

Erkrankung	Hypertherme Zonen sicher	Normal- fraglich befund	Gesamt- zahl
Meniskusläsion	19 (53%)	5 (14%)	12 (33%)
Bandläsion	3 (37%)		5 (63%)
sonstige Traumen	8 (100%)		

Die drei Patienten mit einem Innenbandschaden bieten in ihren thermographischen Befunden kein grundsätzlich abweichendes Bild von jenen mit Innenmeniskusschaden. Jedoch fehlt ein ausgesprochener Herd über dem Gelenkspalt, das Feld medial der Patella ist vielmehr diffus überwärmt. Somit läuft eine Wärmezone ohne größere Temperaturdifferenz von Oberschenkel auf den Unterschenkel über.

Außenmeniskusschäden wurden in sechs Fällen thermographiert. Das Thermogramm zeigt in vier Fällen einen kleinen umschriebenen Überwärmungsherd lateral der Patella über den äußeren Gelenkspalt. Die Temperatur entspricht derjenigen des Ober- bzw. Unterschenkels. Diffuse Erwärmungen oder andere Herde treten nie auf (vgl. Abb. 3).

Drei Patienten mit Außenband- und zwei Patienten mit Kreuzbandläsionen wurden thermographisch untersucht. In keinem Fall zeigten sich Anzeichen im Thermogramm, die für eine pathologische Überwärmung im Bereich des Kniegelenks sprachen.

Die restlichen Patienten mit traumatischen Verletzungen im Kniegelenksbereich teilen sich auf in vier Patienten mit Prellungen, drei mit Frakturen der Patella und einen Patienten mit einem Quadricepsriß.

Die Stelle der subjektiven Schmerzherde bzw. der röntgenologisch und operativ gesicherten Schadenslokalisation ergibt auch einen positiven thermographischen Befund. An der Stelle der Läsion projiziert sich im Thermogramm ein umschriebener, deutlich hyperthermer Herd.



Abb. 3: Thermogramm eines Außenmeniskusschadens links

c) Entzündliche Veränderungen am Kniegelenk

Von den 54 Patienten mit Gonitis, die thermographisch untersucht wurden, litten 36 an Primär chronischer Polyarthrititis (P.c.P.), 18 an Entzündungen anderer Genese (bakteriell, Tbc u.a.).

Das Thermogramm bei der Primär Polyarthrititis wird im Zusammenhang mit der klinischen Symptomatik beurteilt. Je nach Senkungsgeschwindigkeit und nach Angaben subjektiver Beschwerden zeigt sich eine Temperaturerhöhung des befallenen Gelenkes im Vergleich zur gesunden Seite von 2,5° bis 4°C.

36 Patienten wurden thermographiert, davon zeigten 34 Zeichen einer Überwärmung, die sich diffus über das ganze Knie erstreckt (s. Tab. 5).

Bei genauerer Differenzierung erscheinen zwei Streifen größter Wärme. Einer beinhaltet das Gebiet über Patella und deren seitliche Randbezirke. Ein zweiter, durch einen hypothermen Saum abgesetzt, liegt oberhalb der Basis der Patella.

Zwei Mal trat ein Normalbefund auf.

In neun Thermogrammen tritt dazu noch eine deutliche Überwärmung des angrenzenden Oberschenkelbereichs, wobei sich stark hypertherme Streifen schräg nach medial oben bis ins obere Oberschenkel Drittel fortsetzen. Es handelt sich wohl um Bilder, die von pathologisch veränderten oberflächlichen Gefäßen hervorgerufen werden (s. Abb. 4).

Tabelle 5: Thermographischer Befund bei Entzündungen des Kniegelenkes

Erkrankung	Hypertherme Zonen		Normal- befund	Gesamt- zahl
	sicher	fraglich		
P.c.P.	32 (88%)	2 (6%)	2 (6%)	36
Bakterielle Arthritis	17 (94%)	1 (6%)	--	18



Abb. 4: Thermogramm bei P.c.P. rechts

Die Thermogramme von Entzündungen anderer Genese gleichen den eben beschriebenen. Gleichfalls ein Fünftel der Fälle zeigt eine Zeichnung im Thermogramm, die, vom Herd ausgehend, den Oberschenkel medial umwindet. Das Gebiet der regelmäßig vorhandenen Gelenksschwellung ist immer deutlich hypertherm, zwei Herde wie bei der P.c.P. sind jedoch nicht eindeutig abgrenzbar. Die Diagnose war in allen Fällen durch Gelenkpunktion gestellt worden mit anschließender Untersuchung des Punktates. Die Thermogramme waren jedoch vor der Punktion aufgenommen, um Wärmebildveränderungen durch die Punktion auszuschließen.

d) Tumoren

Acht Patienten mit Knochentumoren im Bereich des Kniegelenks wurden thermographisch untersucht.

Die histologische Differenzierung ergab bei fünf Patienten einen benignen Tumor, der einmal als Chondromyxoidfibrom näher bestimmt war, bei drei Patienten einen malignen Tumor, nämlich zwei Fibrosarkome und ein Riesenzellsarkom.

Die malignen Tumoren zeigen in allen Fällen über dem radiologisch und sezintigraphisch gesicherten Herd eine starke Überwärmung, die unregelmäßig, aber glatt von der Umgebung abgesetzt ist. Die Hyperthermie erreicht Werte über 4°C.

Auch vier der fünf gutartigen Tumoren zeigen eine Überwärmung, die aber mehr diffus und nicht so warm wie bei den malignen Tumoren imponiert. Ein Bild eines benignen Tumors zeigt keine Veränderungen im Thermogramm (vgl. Tab. 5).

Tabelle 6: Thermographischer Befund bei Tumoren des Kniegelenkes

Erkrankung	Hypertherme Zonen		Gesamt-
	sicher	fraglich	
Maligne Tumoren	3 (100%)		3
Benigne Tumoren	4 (80%)	1 (20%)	5

e) Zustand nach Operationen

28 Patienten wurden unmittelbar nach Entfernung des Gipses und/oder in späteren Nachuntersuchungen thermographiert. Es zeigt sich in allen Fällen eine deutliche Überwärmungszone an der Stelle des Operationsfeldes. Diese Zone verschwindet, wie Verlaufskontrollen zeigen, frühestens einige Monate nach der Operation, sie kann aber auch bis zu fünf und mehr Jahren bestehen bleiben.

V. DISKUSSION

Über einen Zeitraum von fünf Jahren hin wurden an der Orthopädischen Klinik der Universität München Thermographieuntersuchungen durchgeführt. Das Ziel dabei war, den diagnostischen Wert dieser Methode im Bereich der Orthopädie zu prüfen. Immer wurde versucht, ein möglichst breites Spektrum von Erkrankungen zu erfassen, so daß dieser Arbeit, die sich speziell mit der Thermographie des Kniegelenkes beschäftigt, Untersuchungsergebnisse aller mehr oder weniger häufigen Erkrankungen des Kniegelenkes zu Grunde liegen.

Ausgewertet wurden die Thermogramme nur der Patienten, die durch die Ergebnisse anderer Methoden (klinische Untersuchung, Röntgen, Labor, Szintigraphie u.s.w.) ausreichend sicher einer bestimmten Diagnose zugeordnet werden konnten. Die Thermogramme dieser 318 Patienten wurden schematisch ausgewertet als sicher oder fraglich thermographisch positiv oder als unauffällig. Diese Beurteilungen ergaben sich aus den Temperaturabweichungen zwischen erkrankter Extremität und der vergleichbaren Stelle der gesunden Extremität.

Berücksichtigt wurden außerdem die Verteilungsmuster der Temperatur, um so eventuell einer bestimmten Erkrankung ein charakteristisches Temperaturmuster zuordnen zu können.

Die Erkrankungen wurden in fünf Gruppen zusammengefaßt:

1. Degenerative Veränderungen
2. Traumatische Schädigungen
3. Entzündungen
4. Tumoren
5. Zustand nach Operationen

Um die pathologischen Veränderungen erkennen zu können, wurden die Thermogramme einer gesunden Vergleichsgruppe ausgewertet.

Hier zeigte sich, daß die Wärmeabstrahlung in großem Umfange von den anatomischen Gegebenheiten abhängt. Das Kniegelenk ist dasjenige Gelenk des menschlichen Körpers, dessen größter Teil seines Umfanges nicht muskelbedeckt ist. Es sind also der thermographischen Untersuchung drei Viertel des eigentlichen Gelenkes direkt zugänglich. Bei normalgewichtigen Personen ist die subcutane Fettschicht sehr schwach ausgebildet, bis auf einen Bereich an der In-

nenseite des Kniegelenkes, wo Fettgewebe den Verlauf der v. saphena magna begleitet (T. von LANZ und W. WACHSMUTH, 1938).

Die Elemente des Gelenkes - Knochen- und vor allem Knorpelgewebe und der Bandapparat - bestehen aus weniger stoffwechselaktivem Gewebe. Da die Methode der Thermographie auch ein Abbild der Stoffwechselvorgänge (s.u.) wiedergibt, zeigt sich im Normalbild eine geringere Wärmeabstrahlung über dem Gelenk im Vergleich zu den benachbarten muskulösen Anteilen des Beines.

Variationen des thermographischen Bildes

1. Menschen, die sich körperlich kaum betätigen, zeigen geringere Temperaturwerte über den muskulösen Partien des Beines. Die relative Hypothermie des Gelenkbereiches wird also geringer, im Thermogramm erscheint fast das ganze Bein von annähernd gleicher Temperatur. Bei aktiven Sportlern hingegen (z.B. Fußballspieler) greifen die muskulösen Anteile weiter in den eigentlichen Gelenkbereich; das große hypotherme Oval im Normalbild schrumpft hier zusammen. In extremen Fällen findet sich nur noch ein kleiner Kreis über dem zentralen Feld der Patella, der Rest des Beines ist hell, also hypertherm.

Dieser Befund läßt sich, wenn auch weniger stark ausgeprägt, bei fast allen untersuchten Personen bestätigen. Das Standbein erscheint auf Grund seiner stärkeren Belastung meist geringgradig wärmer als das Spielbein (F.H. THALMANN, 1972 und W. KEYL und P. LENHART, 1975). Hypertrophie bzw. Atrophie einzelner oder mehrerer Muskeln einer Extremität, die ausgelöst sein können durch bestimmte Sportarten oder aber durch Krankheitsprozesse in Hüfte oder Fuß, die somit zu Gangänderungen mit unterschiedlicher Muskelbeanspruchung führen, verursachen oft die fehlende Symmetrie in der Wärmeintensität zwischen den beiden Extremitäten.

2. Bei sehr adipösen Patienten nimmt auch die subcutane Fettschicht über dem Gelenkbereich zu. Die venösen Gefäße vermehren sich an Anzahl und Kaliber. Im Thermogramm erscheinen diese Gefäße als deutlich hypertherm gegen das stoffwechselträge Fettgewebe. Das Bild entspricht in seiner Musterung demjenigen, das jeder nach einem heißen Bad als Marmorierung v.a. am Oberschenkel bei sich selbst beobachten kann. Diese Ursachen überdecken dann im Wärme-

bild die Einflüsse des darunterliegenden Gelenkapparates auf die Wärmeabstrahlung.

3. Eine ähnliche Wirkung geht wohl von der Beschaffenheit der Haut aus. Obwohl hier spezielle Untersuchungen fehlen, ist einsehbar, daß die unterschiedliche Ausprägung der Verhornung der Haut Änderungen im Wärmebild verursachen dürfte. Zu erwarten wäre dies bei Menschen mit vorzugsweise knieender Tätigkeit (Fliesenleger u.a.).

Individuell verschieden ist die Anzahl von Haaren wie auch die Verteilung der Drüsen und damit die Beschaffenheit der Hautoberfläche (trocken-fettig, trocken-feucht) (H. van VOSS, 1966). Die Änderungen der Emissionsdaten der Haut sind hierdurch zwar nur geringfügig, die Veränderungen im Thermogramm aber addieren sich zu eventuellen anderen Variationen.

Einflüsse auf das thermographische Bild

Einflüsse der verschiedensten Ursachen (endogen wie exogen) wirken sich im Thermogramm aus neben den oben besprochenen, vorwiegend auf anatomischen Variationen begründeten Veränderungen.

1. Noch Jahre nach einer Fraktur, hier v.a. einer Patellafraktur, treten im Thermogramm als Zeichen einer Reparation Hyperthermiezonen auf. Bei einer Untersuchung fand sich im proximalen Unterschenkelbereich eine Hyperthermiezone; der Patienten gab erst nach längerem Befragen eine sonst symptomlose Fraktur an, die acht Jahre zurücklag.

Auch nach alten Bandverletzungen oder Meniskopathien sollte gefragt werden. Sie können Veränderungen im Thermogramm verursachen, auch wenn keine anderen Symptome mehr auf sie hindeuten.

2. Verletzungen der Haut zeigen im Anfangsstadium Hypothermie, denn die Kruste verhindert eine Wärmeabstrahlung. Im späteren Verlauf erfolgt wiederum als Folge einer erhöhten Stoffwechsellage eine hypertherme Reaktion. Solche oberflächlichen Verletzungen sind ja leicht sichtbar, doch werden ihre Auswirkungen auf die Wärmeabstrahlung allzu leicht vergessen.

Ähnliches gilt von Ergüssen, die, vor allem wenn sie entzündet sind, nicht mehr das Bild wiedergeben, das die Krankheit ursprüng-

lich zeigen würde.

Häufig erhielten die Patienten intraartikuläre Injektionen, sei es zur Arthrographie, sei es zu therapeutischen Zwecken. Lokale oder das ganze Gelenk erfassende Reizzustände können die Folge sein und im Bild als Hyperthermieherde sichtbar sein.

Natürlich hinterläßt auch jede Erkrankung der Haut, wie zum Beispiel ein Ekzem, ihre Zeichen im Thermogramm. Gerade die Aufzählung dieser Beispiele zeigt, daß man sich als Untersucher immer darüber im klaren sein muß, daß das thermographische Bild stets eine Summationsabbildung von tiefen wie von oberflächlichen Prozessen darstellt (P.J. BRANEMARK, 1967).

3. Eine ungestörte Durchblutung ist eine unbedingte Voraussetzung für eine normale Wärmeverteilung, damit für ein normales Thermogramm.

Alle Faktoren also, die eine Veränderung von Makro- und/oder Mikrozirkulation verursachen, führen zu einer Abweichung in der Wärmeabstrahlung. Arterielle Durchblutungsstörungen (z.B. durch arteriosklerotische Veränderungen), Abflußbehinderungen im venösen Schenkel (ausgelöst häufig durch Thrombophlebitiden) oder Lymphstauungen stören als Zusatzfaktoren das thermographische Untersuchungsergebnis.

R.B. BARBES (1963) wies auf den Einfluß der Essensgewohnheiten auf die Durchblutung hin. Es sind also unterschiedliche Ergebnisse zu erwarten, wenn die Patienten in nüchternem Zustand oder nach besonders opulenten Mahlzeiten untersucht werden.

Starker Nikotin-, Kaffee- oder Alkoholgenuß greift in die Mechanismen der Wärmeregulation des Körpers ein an teils zentralen, teils peripheren Angriffspunkten (W. SIEGENTHALER, 1970). Auch diese Faktoren führen oft zu erheblichen Auswirkungen im Thermogramm (R.B. BARNES 1963 und P. TISELIUS 1970).

In der Praxis dürfte die Einnahme von Drogen und/oder Medikamenten in sehr vielen Fällen die größte Rolle spielen bei der Frage nach den Einflüssen auf Veränderungen des Normalbildes. Mit Hilfe der Plattenthermographie (J. TRICOIRE, 1970), die es ermöglicht, auch kurzfristige Infrarotabstrahlungsänderungen abzubilden, die somit Verlaufsbeobachtungen zuläßt, wurde der Einfluß von Medikamenten, von Antiphlogistica, Antipyretica und von lokal hyperämisierenden

Mitteln auf das Wärmeverhalten der Haut untersucht (vgl. G. KU-SCHINSKY, 1974). Hyperämisierende Medikamente sowie auch intra-arterielle Injektionen durchblutungssteigernder Mittel verursachen einseitige, lokale Wärmeänderungen, ihr Einfluß ist also beim Seitenvergleich zu berücksichtigen. Medikamente mit zentralem oder allgemein peripherem Angriffspunkt führen zu einer allgemeinen Erhöhung oder Erniedrigung der Körpertemperatur.

Psyche, vegetatives Nervensystem und Endokrinium beeinflussen zweifelsfrei die Wärmeregulation des Organismus (K. FRANKE, 1974). Es ist jedoch noch nicht möglich, die Auswirkungen von einzelnen veränderten Faktoren in diesem komplizierten Regulationssystem anzugeben.

Die bis jetzt besprochenen Faktoren und ihr Einfluß auf das Thermogramm waren alle teils durch anatomische Veränderungen, teils durch endogene oder exogene Einflüsse bedingt, sie waren jedoch unabhängig von dem thermographischen Untersuchungsgang.

Möglichkeiten der Fehlinterpretation

1. Man ist leicht versucht, aus Zeitnot die Phase der Akklimatisation des Patienten abzukürzen, ihn vielleicht nur kurz mit Alkohol einzureiben und gleich zu thermographieren. Dies hat zur Folge, daß Regulierungsprozesse des Organismus an die Umgebungstemperatur während der Aufnahmezeit (ca. 4 min.) stattfinden. Der Seitenvergleich ist jetzt wegen verschiedener Grundtemperaturen der Extremitäten nicht mehr möglich (der Vorgang des Scannens erfaßt zuerst das rechte, dann erst das linke Bein).

Aufregungen, Luftzug, zu warme oder zu kalte Umgebungstemperatur (A. NILSSON 1969 und N.A. BJÖRG, 1967) verhindern eine gleichmäßige Adaptation an die Umgebungstemperatur. Besonders bei Patienten, die leicht zu Schwitzen neigen, sollte die Anpassungszeit möglichst lange sein, denn durch die Verdunstungsabkühlung der Haut erscheinen im Thermogramm sonst unerklärbare hypotherme Herde (H. SCHÖLER, 1966).

2. Die Einstellung des Thermographen birgt gerade für den unerfahrenen Untersucher eine Quelle von Fehlermöglichkeiten:
Ungenauere Schärfeneinstellung ergibt ein kontrastarmes Bild, statt

eventueller klar umschriebener Überwärmungsherde sehen wir eine diffuse Hyperthermie. Schon oben wurde für einen Mittelwert bei der Sensivity-Einstellung plädiert, zu hohe Einstellungen (über $S = 40$) erfassen ein nur begrenztes Temperaturfeld, geringe Überwärmungen entgehen also dem Untersucher; zu tiefe Einstellungen (unter $S = 40$) erschweren die Identifikation kleiner Überwärmungsherde, da die zu wenig abgefilterte Umgebungstemperatur jene überdeckt. Trotz genauer Befolgung der Bedienungsanleitung für den Entwicklungsvorgang des Filmsystems ("Polaroid") können Artefakte im mangelhaften Filmmaterial begründet sein, die manchmal einen pathologischen Wärmeherd vortäuschen oder überdecken.

3. Bildüberlagerungen, die die Befundung erschweren, können bedingt sein durch Bewegungen des Patienten während der Aufnahmezeit - diese vor allem übernervösen Patienten oder Kinder sollten deshalb angeschnallt werden - oder durch Verrücken des Thermographen oder der Untersuchungsfläche durch eine Unachtsamkeit des Untersuchers.

4. Bei der Bewertung des Bildes, die sich meist auf den Seitenvergleich stützt, sollte man immer ein Idealbild des Normalen vor Augen haben. Der Seitenvergleich als alleinige Methode versagt nämlich, wenn beide Gelenkbereiche durch die gleiche oder durch verschiedene Erkrankungen in ihrer Wärmeabstrahlung verändert sind (z.B. P.c.P.). Daneben ist die Thermographie heute nicht unbegrenzt empfindlich. Größere Herde können bis in eine Tiefe von sieben Zentimetern abgebildet werden (D. LANGE und H. POSER, 1972). Implantationsversuche von elektrisch aufgeheizten Metallplättchen mit einem Durchmesser von 1cm ergaben positive Resultate, wenn die Temperatur um mehr als 2°C von der Umgebungstemperatur abwich, und wenn die Plättchen nicht mehr als 1cm in der Tiefe lagen (A. GANSEN, 1969).

Zusammenfassend zeigt die Tabelle 7 die Faktoren, die das Entstehen einer Abbildung der Wärmeabstrahlung beeinflussen (nach G. NOTTER und O. MELANDER, 1968).

Tabelle 7: Faktoren, die an der Ausbildung eines Wärmebildes
 beteiligt sind (nach G. NOTTER und O. MELANDER,
 1968)

-
1. Wärmedifferenz zwischen Herd und Umgebung durch
 - a Wärmeproduktion des Herdes
 - b venöse Drainage (Wärmeableitung)
 - c Wärmeleitvermögen des Umgebungsgewebes
 2. Größe des Herdes
 3. Tiefenlage des Herdes
 4. Temperatur der Oberfläche
 5. Raumtemperatur
 6. Wärmeempfindlichkeit und Auflösungsvermögen des Thermo-
graphen
-

Thermogramme der einzelnen Krankheitsgruppen

Die Auswirkungen im Thermogramm und deren diagnostische Aussagekraft bei Erkrankungen im Bereich des Kniegelenkes sollen im folgenden in der selben Reihenfolge abgehandelt werden, wie sie im Kapitel IV (Ergebnisse) aufgezählt sind.

Chondropathia patellae

Alle Patienten mit einer unbehandelten Chondropathia patellae zeigen Hyperthermie im Thermogramm (vgl. auch W. KEYL und K. VIERNSTEIN, 1972). Besonders der mediale Kniescheibenrand imponiert im Thermogramm als streifenförmige Überwärmungszone. Diese Beobachtung korreliert mit dem Symptom des druckempfindlichen Patellarandes (Ch. HOLLAND, 1974).

Zu Beginn der Krankheit ist besonders die mediale Patellafacette betroffen: Der Knorpel zeigt knötchenförmige Schwellungen und Auflockerungen (J. RUCKES, 1974). Auch im Thermogramm erscheint der mediale Patellarand stärker hypertherm als der laterale.

Der lokale Charakter der Überwärmung läßt ihre Ursache in einer Mitreaktion der Synoviales vermuten, die hier am Rand des Sehnenstreifens des Ligamentum patellae relativ oberflächennah zu liegen kommt. Diese Mitreaktion der Synovialis tritt auch im Symptom der intermittierenden Ergüsse in Erscheinung (Ch. HOLLAND, 1974). Eine Diagnose läßt sich aus dem Thermogramm nicht ableiten, doch lassen die Lokalisation in der Gegend der Patella an ein Krankheitsgeschehen der Kniescheibe selbst denken. Die nur geringgradige Temperaturerhöhung läßt einen primär entzündlichen Kniegelenksprozeß als unwahrscheinlich erscheinen, dessen klinisches Bild und dessen Röntgenmorphologie (Demineralisation) allerdings dem der Chondropathie gleichen können (W. DIHLMANN, 1973).

Der Verlauf bzw. der Behandlungserfolg der Chondropathie ist eventuell im Thermogramm abzulesen: Verschwinden die pathologischen Herde im Thermogramm, so ist mit einer Normalisierung des Krankheitsgeschehens zu rechnen. Eine Patientin mit erst hyperthermem Thermogramm wurde nach mehreren Wochen Ruhigstellung erneut untersucht. Sie hatte jetzt keine Veränderungen im Thermogramm, daneben auch keine klinischen oder röntgenologischen Symptome mehr.

Geht die Chondropathia patellae in eine Femoropatellararthrose über, die mit der Zeit in eine panartikuläre Gonarthrose mündet (W. DIHL-

MANN, 1973), so beeinflussen diese arthrotischen Veränderungen meist die Wärmeabstrahlung weiterhin (s.u., vgl. W. KEYL und K. VIERNSTEIN, 1972).

Arthrosis deformans

Zwei Drittel der Patienten mit röntgenologisch diagnostizierter Arthrosis deformans (Gelenkspaltverengung, osteophytäre Randwulstbildung, subchondrale Osteosklerose u.s.w., nach W. MOLL, 1974) zeigten Hyperthermie im Thermogramm.

Es ist eine lokal umschriebene Überwärmung zu sehen, die in ihrer Art dem Befund bei Chondropathia patellae ähnelt. Neben dem medialen ist dazu noch der distale Rand stärker überwärmt. Die Hyperthermie erscheint als Zeichen des doch weiter fortgeschrittenen Prozesses allgemein stärker und in ihrer Ausdehnung vergrößert im Vergleich zum Bild bei der Chondropathie.

Zu erklären ist das Bild wiederum als bedingt durch Irritation des Knorpelgewebes vor allem im Randbereich. Resorption von abgebautem oder zerstörtem Knorpel wie auch mechanische Irritation des Stratum synoviale durch Randosteophyten (J. RUCKES, 1974) führen zu einer pathologischen Gefäßeinsprossung und damit zu Veränderungen im Wärmeverhalten.

Ein Drittel der Patienten mit röntgenologisch gesicherter Arthrosis deformans zeigte ein normales Thermogramm. Diese Beobachtung wäre zu vereinbaren mit der Tatsache, daß 60% bis 80% der 40- bis 60-jährigen Individuen an arthrotischen Veränderungen röntgenologisch leiden, aber nur 5% bis 10% der Fälle klinisch manifest werden (W. MOLL, 1974). Es besteht auch keine direkte Beziehung zwischen den Schmerzen und dem Ausmaß der Gelenkveränderungen (Th.B. BAYLES, 1974 und ASCHE, 1973). Hyperthermie im Thermogramm wäre somit vielleicht ein Anzeichen einer schmerzhaften Arthrosis deformans, Normothermie das einer zumindest schmerzfreien Phase einer Arthrose. Ob dies zutrifft, kann nur in einer Untersuchung eines größeren Patientenkollektives gezeigt werden.

Selten treten bei der Arthrose Ergüsse auf. Die Methode der Thermographie kann hier in einigen Fällen bei der Differenzierung helfen, ob diese Schwellung infiziert ist oder nicht. Im Falle einer Infektion zeigen sich auffällige Thermogramme, die unten näher be-

sprochen werden.

Oestochondrosis dessecans

Das Thermogramm zeigt eine geringgradige diffuse Überwärmung des gesamten Bereiches des Kniegelenkes.

Die Lokalisation dieser Erkrankung vor allem am medialen (seltener am lateralen) Femurkondylus (W. DIHLMANN, 1973) zeitigt also keine unmittelbaren Veränderungen im Wärmebild. Diese Beobachtung wird verständlich durch die Tiefe des Krankheitsgeschehens. Offenbar erfolgt durch die Osteochondrose eine Reizung der Synovialmembranen, die das ganze Gelenk umfaßt. Diese Irritationen bewirken dann die diffuse Überwärmung des Gelenkbereiches.

Aseptische Tibianekrose (M. SCHLATTER)

Zwei Patienten wurden thermographisch untersucht. Beide zeigen eine diffuse, leichte Überwärmung des gesamten Bereiches des Kniegelenkes. Auch dieser Befund gründet sich wohl in einer Reizung der Knorpel- und Synovialstrukturen des Gelenkes. Für einen lokalen Herd finden sich im Thermogramm keine Anzeichen.

Verletzungen

Innen - wie Außenmeniskusverletzungen zeigen bei zwei Dritteln der untersuchten Patienten einen auffälligen thermographischen Befund: Über dem inneren bzw. äußeren Gelenkspalt erscheint ein abgegrenzter, deutlich überwärmter Herd von ca. Fünf-Mark-Stück Größe. Bei Aufnahmen von Innenmeniskusverletzten läuft dieser Herd nach oben und unten streifenförmig aus, etwa auf der Projektionslinie des Innenbandes.

Die genaue topographische Übereinstimmung zwischen Lokalisation der Verletzung und Auswirkung im Wärmebild verdeutlicht den engen Zusammenhang der tiefen mit den oberflächlichen Gewebeschichten. Die Reizung und damit die Überwärmung beschränkt sich auf den Ort der Verletzung und zieht offenbar nicht das ganze Gelenk in Mitleidenschaft.

Diese lokalen biochemischen Reaktionsabläufe, die letztlich durch Beeinflussung der Gefäßsphinkteren die Durchblutung erhöhen, liegen in der Freisetzung von Kininen aus dem geschädigten Gewebe begründet (W.F. GANONG, 1972).

Eine Innenbandschädigung zeigt im Wärmebild ähnliche Auswirkungen wie eine Innenmeniskusverletzung. Oft liegt ja auch eine Kombinationsverletzung von Innenmeniskus und -band vor. Vielleicht zeigt die Normothermie bei Innenmeniskusschädigungen, die bei einem Drittel der Patienten gefunden wurde, die Unversehrtheit des Innenbandes an, das den Wärmeabfluß dann nach oben verhindern würde.

Wie auch bei der Chondropathia patellae stimmen bei den Meniskusverletzungen Ort der Überwärmung und Ort der Druckschmerzhaftigkeit überein. Hier Druckschmerz und Hyperthermie über dem jeweiligen Gelenkspalt, dort Druckschmerz und Überwärmung vor allem über dem medialen Patellarand. Eine Erklärung könnte darin bestehen, daß eben die Kinine neben ihren durchblutungsregulatorischen Fähigkeiten auch schmerzauslösende Komponenten besitzen.

Außenbandverletzungen zeigen in den vorliegenden Thermogrammen keine Auffälligkeiten. Dies könnte mit der Aufnahmetechnik zusammenhängen: Der Herd, falls vorhanden, dürfte so weit dorsolateral liegen, daß er sich bei der Anterior-Posterior-Aufnahme, die ausschließlich angewendet wurde, nicht nach vorne projiziert.

Auch Kreuzbandverletzungen beeinflussen die Wärmeabstrahlung nicht. Die Lokalisation der Beschädigung liegt wohl zu tief im Gelenk und wird von zu ausgedehnten intakten Gewebeschichten überdeckt, als daß sie Auswirkungen im Thermogramm verursachen könnte.

Frakturen der Patella, die röntgenologisch meist gesichert, jedoch Verwechslungsmöglichkeiten mit einer Patella partita aufgeben können, zeigen eine auffällige Überwärmung nur des Bereiches über der Patella. Dieses Bild tritt bei anderen Erkrankungen des Knies nicht auf (vgl. J. GERSHON-COHEN, 1965).

Prellungen wie auch ein Quadricepssehnenriß zeigen lokal einen hyperthermen Bezirk, dessen Ausdehnung mit dem der Schmerzhaftigkeit wiederum übereinstimmt.

Die Methode der Thermographie bietet sich wohl gerade bei Verletzungen als eine Möglichkeit zur Verlaufskontrolle an. Solange noch Gewebsstrukturen verletzt sind, oder Reparationsvorgänge ablaufen, werden auch Überwärmungszeichen vorliegen, Normothermie zeigt entweder die Ausheilung an oder eine Störung der Reparationsvorgänge, d.h. der Narben- bzw. Kallusbildung.

Weiter unten wird bei der Besprechung von Thermogrammen, die den Zustand nach Operationen dokumentieren, auf diese Möglichkeit zur Verlaufsbeobachtung näher hingewiesen.

Gelenkentzündungen

Es wird hier darauf verzichtet, Entzündungen bzw. deren Auswirkungen im Thermogramm ätiologisch getrennt zu besprechen; denn es zeigte sich, daß wir immer gleiche Bilder sehen, egal welche Ursache die Entzündung hatte.

Nur 3% der Patienten zeigten kein hyperthermes Bild. Es muß angenommen werden, daß zur Zeit der thermographischen Untersuchung die Entzündung hier schon ausgeheilt war.

Der überwiegende Teil der Patienten zeigte eine starke, bis zu 4°C betragende, diffuse Hyperthermie über dem ganzen Gelenk. Die Basis der Patella erscheint oft relativ hypotherm, so daß oberhalb und unterhalb davon ein stärkerer Herd imponiert. Vermutlich schwächt hier aber das Knochengewebe der Patella die Wärmeabstrahlung nur ab.

Das Thermogramm deutet auf eine Schädigung im gesamten Gelenkbereich hin. Dies bestätigt auch die Pathologie, die als erste Entzündungszeichen Stauung, Fibrinexsudation und zelluläre Infiltration im ganzen Gelenkkapselgewebe nennt. Die folgende Läsion des Knorpelgewebes, die destruktiven Veränderungen im subchondralen Markraum und eine reaktive Sklerosierung iuxtaartikulärer Knochengebiete zeigt die gleichzeitige Beteiligung von Knochen-, Synovial- und Sehnengewebe (K. MIEHLKE, 1974). Die dadurch bedingte, frühzeitig auftretende Änderung in der Wärmeabstrahlung läßt die Thermographie als gute Methode zur Lokalisation von Entzündungen erscheinen (P. J. BRANEMARK, 1966 und F.H. THALMANN, 1972).

Ein zusätzlicher Befund tritt in einem Fünftel der thermographierten Fälle bei Kniegelenkserkrankungen auf: Stark hypertherme Bahnen ziehen vom Knie ausgehend am medialen Oberschenkel nach oben in die Leistengegend. Diese Bahnen könnten mit oberflächlichen Venen oder mit den hier verlaufenden Lymphgefäßen in Zusammenhang gebracht werden, die oberflächennah zu den Leistenlymphknoten ziehen. Solche Thermogramme würden dann auf eine Ausweitung der Entzündung auf extraartikuläre Strukturen hinweisen, was für Prognose und Therapie sicher nicht ohne Folgen sein könnte.

Ausdehnung und Grad der Hyperthermie läßt in der Diagnostik sofort an eine Entzündung denken. Ähnliche Bilder finden wir nur noch bei

schweren Traumen, die das ganze Gelenk in Mitleidenschaft zogen, und bei Tumoren (s.u.). Degenerative Erkrankungen, es sei denn, daß sie durch Entzündungszeichen sekundär überlagert werden, sind fast sicher bei solchen Bildern auszuschließen.

Oft stellt sich bei chronischen Entzündungen, vor allem bei der chronischen Polyarthrititis die Frage, ob ein entzündlicher Schub vorliegt. Während hier oft noch die Blutsenkungsreaktion und die klinischen Zeichen fraglich sind, tritt bei zwanzig untersuchten Patienten ein eindeutig stark hyperthermer Befund auf (F.H. THALMANN, 1972 und vgl. A. VIITANEN, 1970). Auch N.F. BOAS, 1964 und E. KOOB und K.F. SCHLEGEL, 1971 weisen darauf hin, daß die Thermographie oft vor pathologischem Ausfall der BSR und vor röntgenologischen Veränderungen positive Befunde zeigt.

Das schnelle Ansprechen der Thermographie auf Änderungen im Aktivitätszustand einer Entzündung läßt diese Methode für Verlaufsbeobachtungen interessant erscheinen.

P.J. BRANEMARK, 1966 setzte die Thermographie als Parameter des Therapieeffektes bei Entzündungen ein, J. GERSHON-COHEN, 1965 und J.A. COSH und E.F. RING, 1967 verfolgten die Änderung im thermographischen Bild nach operativer wie konservativer Therapie. Frühestens zwei Monate nach der Synovektomie, nach Abheilen der durch die Operation verursachten Wunde, zeigt sich bei Erfolg der Therapie eine Abnahme der Überwärmung. Eine länger bestehende Hyperthermie läßt den Verdacht auf ein Rezidiv oder auf ungenügende Radikalität der Synovektomie zu.

Bei konservativer Therapie laufen das Ausmaß der subjektiven Beschwerden und der Grad der Hyperthermie etwa parallel zueinander. BKS und Ausfall des C-reaktiven Proteins dagegen hinken der aktuellen Situation meist etwas nach (F.H. THALMANN, 1972).

Da die Thermographie keine Hinweise auf die Ätiologie der Entzündung im Kniegelenk zuläßt, liegt ihr Wert erst in der Kombination mit Laboruntersuchungen und mit dem klinischen Bild; als Zusatzdiagnostikum liegt ihr Vorzug offenbar in einer gewissen Aussage über Aktivität und Verlauf der Entzündung.

Tumoren

Maligne Tumoren zeigen immer, benigne in den meisten Fällen eine deutliche Überwärmung im Gebiet des radiologisch oder szintigraphisch gesicherten Tumorherdes. Besonders die malignen Tumoren erzeugen Temperaturerhöhungen (über 4°C), die sonst nur noch bei Entzündungen erreicht werden. Meist läßt sich ein Herd identifizieren, der ringförmig von einer diffusen, weniger ausgeprägten Hyperthermiezone umgeben ist.

Die wohl interessanteste Fragestellung bei der Thermographie von Tumoren, ob die Überwärmung Hinweise auf Malignität oder Benignität der Neubildung gibt, konnte auch auf Grund der geringen Fallzahl ($n = 8$) nicht befriedigend geklärt werden. Alle malignen Geschwulste jedenfalls zeigen eine deutliche Hyperthermie; dies stimmt mit einer Untersuchung von H. POSER, 1971 überein. Umgekehrt läßt sich daraus ableiten, bei einem warmen Herd mit klinischen Zeichen einer Neoplasie zumindest den Verdacht auf einen malignen Prozeß auszusprechen. Diese Verdachtsdiagnose kann in einigen Fällen doch wertvoll sein, da für Hinweise, die durch Röntgenuntersuchungen erbracht werden können, erhebliche Strukturdefekte vorliegen müssen (H. POSTER, 1970).

Untersuchungen von G. NOTTER und O. MELANDER, 1968 ergaben bei 80% von Tumormetastasen eine Hyperthermie von mehr als 2°C , damit eine thermographische Erfäßbarkeit. Diese Autoren wie auch C. FARELL, 1968, N.J. AARTS, 1969, J. GERSHON-COHEN, 1965 und H. POSER, 1971 sehen die Thermographie als brauchbare Zusatzmethode an bei der Suche nach Knochentumoren, doch die Hilfe, die sie bei der Diagnostik von Mammafrühtumoren liefert (H.J. ISARD, W. BECKER u.a., 1972), erbringt sie hier nicht.

Besonders bei der Kontrolle von verdächtigen Fällen und bei der Überwachung von früher behandelten Tumoren in Form einer Verlaufsbeobachtung kann die Thermographie nützlich sein (H. NOTTER und O. MELANDER, 1968). Als eine Methode, die den Aktivitätszustand des Gewebes anzeigt, kann sie Hinweise geben auf einen Aktivitätsumschlag eines gutartigen in einen bösartigen Prozeß oder auf das Auftreten eines Rezidivs.

Doch darf nicht übersehen werden, daß gerade auch bei Tumorverdacht von der Thermographie keine spezifische Aussage erwartet

werden kann, eine Unterscheidung etwa einer Entzündung gegenüber ist niemals sicher zu treffen (H. POSTER, 1971).

So messen W. KEYL und G. HÖR, 1974 der Thermographie bei Tumoren im Vergleich zu Szintigraphie und Angiographie nur eine untergeordnete Bedeutung bei.

Zustand nach Operationen

Diese Gruppe umfaßt Patienten, die aus allen möglichen Ursachen einer operativen Behandlung zugeführt wurden, und deren Heilungsverlauf über eine gewisse Zeit thermographisch untersucht wurde.

Die Beurteilung dieser Bilder ergibt zwei Gesichtspunkte: Durch die meist angeordnete Ruhigstellung der Extremität (Gips, Schiene u.s.w.) tritt im Verlauf weniger Tage eine deutliche Temperaturminderung der kranken gegenüber der gesunden Seite in Erscheinung. Dies ist Ausdruck des gedrosselten Stoffwechsels, der klinisch zur Inaktivitätsatrophie, thermographisch zu Hypothermie führt.

Anders verhält sich das Operationsfeld selbst. In den ersten Tagen verhindert die Exsudat- bzw. Krustenbildung eine Wärmeemission. Doch dann bewirkt die reaktive Hyperämie, die den Regenerationsprozeß des Gewebes anzeigt, eine starke, lokale Hyperthermie. Im Verlauf der Heilung schwächt sich diese Überwärmung ab, besteht aber in den meisten Fällen noch, wenn klinisch die Heilung als abgeschlossen betrachtet wird. Frühestens nach acht bis zehn Monaten tritt wieder ein normales Thermogramm auf (vgl. L. HENKEL und G. WATMOUGH, 1969).

VIII. ZUSAMMENFASSUNG

Im Rahmen einer thermographischen Untersuchungsreihe wurden 330 Patienten mit Beschwerden im Kniebereich untersucht. Bei 168 Patienten konnte durch nichtthermographische Untersuchungsmethoden eine exakte Diagnose gestellt werden; in der vorliegenden Arbeit wurde der Aussagewert dieser Thermogramme in Vergleich zu den restlichen Methoden gesetzt.

1. Bei degenerativen Erkrankungen konnte in ca. 3/4 der Fälle eine Veränderung im Sinne einer Hyperthermie im Wärmebild festgestellt werden.
2. Meniskusschäden zeigen in 2/3, Bänderschäden in 1/3, Prellungen und Frakturen stets Hyperthermiezonen.
3. Entzündungen im Gelenkbereich verändern das Wärmebild fast immer im Sinne einer Hyperthermie.
4. Bei Tumoren erscheint bei benignen in 3/4 der Fälle, bei malignen stets eine Hyperthermiezone.

Als unspezifische Untersuchungsmethode - wie auch die Szintigraphie - kann die Thermographie Diagnosehilfen bei sonst nicht sicher zu klärenden Krankheitserscheinungen geben. Sie gibt Aussagen über die Lokalisation und Ausdehnung von Prozessen, und gibt in Verlaufskontrollen Eindrücke von der Entwicklung des Krankheitsgeschehens.

VII. LITERATURVERZEICHNIS

- AARTS, N.J.M. Some Experiences with Thermography
J. Radiol.electrol, Paris 48 (1967) 76
- " Thermographie in Malignant and Inflammatory
Diseases of the Bones
Bibl.Radiol. 5 (6969) 182
- ALBERT, S.M. u.a. Thermographie in Orthopedics
Ann. N.Y.Acad.Sci. 121 (1964) 157
- ASCHE Eine Kleine Rheumatologie
Hamburg: Asche 1973
- ASCHOFF, I. Untersuchungen über die Hauttemperatur in Rela-
tion zum Durchblutungsmaß
Münch.Med.Wschr. 1955
- " Hauttemperatur und Hautdurchblutung in Dienst
der Temperaturregulation
Klin.Wschr. 5 (1958) 194
- BARMS, R.B. Thermography
Ann. N.Y. Acad.Sci. 140 (1963) 870
- " Clinical Thermography
J.Amer.Med.Ass.Chicago 185 (1963) 949
- BAYLES, Th.B. Diagnose und Therapie der Arthrose
MSD Rheuma Service 1974
- BECKMANN, L. Bilddarstellung von Oberflächentemperaturen
mit Hilfe der infraroten Eigenstrahlung
J.Radiol.electrol., Paris 48 (1967) 35
- BJÖRG, N.A. Thermographie
J. Radiol.electrol., Paris 48 (1967) 30
- BOAS, N.F. Thermographie in Rheumatoid Arthritis
Ann.N.Y.Aad.Sci. 121 (1964) 141
- BRANEMARK, P.J. Die Infrarotthermographie in der Klinik
Dtsch.med.Wschr. 91 (1966) 961
- " Biologic and Clinical Evaluation of Thermo-
graphy
J.Radiol.electrol, Paris 48 (1967) 69

- BUBSER, H.P. Thermographische Untersuchungen bei peripheren Nervenläsionen
München: Med. Diss. in Vorb.
- BUCHMÜLLER, K. Physikalische Grundlagen der Hautthermometrie mit Hilfe der Strahlenmessung im Ultraroten
Arch.phys.Ther. 4 (1965) 178
- COBET, R. u.a. Über Messung der Wärmestrahlung der menschlichen Haut und ihre Bedeutung
Dtsch.Arch.Klin.Med. 144 (1924) 45
- COSH, J.A. u.a. Thermographie bei Rheuma
J.Radiol.electrol., Paris 48 (1967) 84
- DIHLMANN, W. Gelenke - Wirbelverbindungen
Stuttgart: Thieme 1973
- FARREL, C. u.a. Thermographie and Osteosarkomes
Radiology 9 (1968) 792
- FRANKE, K. Haut- und Muskelrezeptoren und vegetatives System
Zeitschr. Allg.Med. 3 (1974) 127
- FRANKE, W. Thermographische Untersuchungen bei Knochentumoren
München: Med. Diss. 1974
- GANONG, W.F. Medizinische Physiologie
Berlin: Springer 1972
- GANSEN, A. u.a. Thermography
Int.Conf.Med. and Biol.Engin., Chicago 1969
- " Medizinische Thermographie
Röntgenpraxis 5 (1971) 97
- GERSHON-COHEN, J. Thermography
u.a. Radiologie 82 (1964) 134
- " Medical Thermography. A Summary of Current Status
The Radiol.Clinics North Amer. 13 (1965) 3

- GERSHON-COHEN, J. Thermographie
 u.a. J.Radiol.electrol., Paris 47 (1967) 178
- GROS, Ch. u.a. Die Anwendungsmöglichkeiten der Thermographie
 Fortschr. Röntgenstr. 106 (1967) 561
- " Klinische Anwendung der Thermographie
 Röntgen Bl. 20 (1967) 441
- " Technische und klinische Fortschritte auf dem Gebiet der Thermographie
 Röntgenpraxis 4 (1967) 13
- " Thermography
 J. Radiol.electrol., Paris 47 (1967) 178
- HALBECK, W. Thermographische Untersuchungen der unteren Extremitäten nach Immobilisation im Gipsverband
 München: Med. Diss. 1974
- HARDY, I.D. The Radiation of Heat from Human Body
 J. Clin. Invest. 13 (1934) 817
- " Basal Metabolism, Radiation, Convection, and Vaporisation at Temperatures of 22° to 35°C
 J. Nutr. 15 (1938) 477
- HENKEL, L. u.a. Die Thermographie in der Orthopädie
 Zeitschr. Orthop. 106 (1969) 4
- HOEFFKEN, W. Mammographie und Thermographie der weiblichen Brust als Vorsorgeuntersuchung
 Z. Allgmed. 49 (1973) 206
- HOLLAND, Ch. Erkrankungen des Femoropatellargelenkes
 Dtsch. Ärztebl. 27 (1974) 2125
- ISARD, H.J. u.a. Breast Thermography after 4 years and 10.000 studies
 Amer. J. Roentgenol. 115 (1973) 811

- KEYL, W., VIERN- Zur Behandlung der Chondropathia patellae
STEIN, K. Münch. med. Wschr. 114 (1972) 1384
- " , HÖR, G. Angiographie, Szintigraphie und Thermo-
graphie bei Knochentumoren
Münch. med. Wschr. 116 (1974) 307
- " , LENHART, P. Die Thermographie bei Sportverletzungen und
Sportschäden des Bewegungsapparates
Fortschr. Med. 93 (1975) 3
- KOOB, E. u.a. Die Bedeutung der Thermographie bei primär
chronischer Polyarthritits
Beitr. Orthop. 18 (1971) 174
- KOPPELMANN, J. Klinische Untersuchungen der peripheren
Vasomotorik als Parameter vegetativer Inner-
vation in der Peripherie
Med. Klinik 66 (1971) 1020
- KRÖBEL, W. Physikalische Grundlagen der Hautthermome-
trie bei Strahlungsmessungen im Ultraroten
Arch. phys. Ther. 4 (1965) 120
- KUSCHINSKY, G. Pharmakologie
Stuttgart: Thieme 1974
- LANGE, D. u.a. Infrarotthermographie
Med. Technik 1 (1972) 21
- v. LANZ, T.,
WACHSMUTH, W. Praktische Anatomie I/4 Bein und Statik
Berlin: Springer 1938
- LAWSON, R.N. A New Infrared Imaging Device
Canad. Med. Ass. J. 75 (1956) 39
- " Thermographie - A new Tool in the Investiga-
tion of Breast Lesions
Canad. Serv. Med. J. 13 (1957) 517
- " Temperature Measurement of localised
Pathological Processes
Ann. N.Y. Acad. Sci. 121 (1957) 90

- MAHL, Ch. Der diagnostische Wert thermographischer Untersuchungen bei Erkrankungen der oberen Extremität
München: Med. Diss. in Vorb.
- MIELKE, K. Die chronische Polyarthritits
Nürnberg: Kurzmonographien Sandoz 1974
- MOLL, W. Rheumatologie
Medizin 8 (1974) 220
- MÖRSDORF, D. u.a. Die medizinische Anwendung der Infrarotdiagnostik mit Hilfe des Scanningverfahrens
Med.Welt 13 (1968) 2825
- NILSSON, A. Studies on Joint Temperature
Acta Rheum.Scand. 14 (1969) 4
- NOTTER, G.,
MELANDER, O. Klinische Diagnostik mit Thermovision
Röntgen Bl. 21 (1968) 49
- POSER, H.,
LANGE, D. Infrarot-Thermographie mit nuklearmedizinischen Farbscanner
Strahlentherapie 140 (1970) 123
- POSER, H. Infrarotthermographie bei Knochenerkrankungen
Therapiewoche 21 (1971) 1625
- PSCHORR, W. Die Thermographie der unteren Extremität
München. Med. Diss. in Vorb.
- RUCKES, J. Gelenke, Bursen, Sehnenscheiden und Menisken in Lehrbuch der allgemeinen Pathologie
Berlin: Springer 1974
- SCHÖLLER, H. Über Thermographie
Med. Welt 33 (1966) 1710
- SIEGENTHALER, W. Klinische Pathophysiologie
Stuttgart: Thieme 1970
- TISELIUS, P. Studies of Joint Temperature, Joint Stiffness and Muskel Weakness in Rheumatoid Arthritis
Acta Rheum.Scand. 16 (1970) 13

- THALMANN, F.H. Die Bedeutung der Thermographie bei der Beurteilung der Primär progressiven Polyarthritidis
München: Med. Diss. 1972
- TRICOIRE, J. La Thermographie en Plaque
Presse Medicale 55 (1970) 2481
- TRÖGER, H. Thermographische Untersuchungen der unteren Extremitäten bei Ischiaspatienten
München: Med.Diss. 1972
- VIITANEN, A. Thermographie in Juvenil Rheumatoid Arthritis
Acta Rheum.Scand. 16 (1970) 124
- v.VOSS, H. Some Experiences with Thermographie
J. Radiol.electrol., Paris 48 (1967) 79
- " Medical Thermographie
Proc.Boerhave Course Leyden 213 (1968) 1
- " ,THOMAS,P. Medical Thermographie
Basel - New York: S. Karger 1969
- WILLIAMS, K.L. Thermographie
J. Radiol.electrol., Paris 48 (1967) 68

LEBENS LAUF

Ich wurde am 19. Juni 1951 als Sohn des praktischen Arztes und Chirurgen Dr. Felix Prosinger und seiner Frau Eva, geb. Schäffer, in München geboren. Die Vorschulzeit verbrachte ich in Grafing b. München, dann in Tutzing, bis sich mein Vater 1955 in Burgau/Schwaben niederließ. Hier besuchte ich vier Jahre lang die Volksschule und trat 1961 in die humanistische Abteilung des Staatlichen Gymnasiums in Günzburg a.d. Donau ein. Nach neun Jahren schloß ich die Schulzeit mit Erlangen des Abiturs ab. Nach einem Wartesemester, in dem ich archäologische und geschichtliche Studien betrieb, erhielt ich für das Sommersemester 1971 die Zulassung zum Studium der Humanmedizin. Nach dem zweiten Semester (Wi. 1971/72) bestand ich das Vorphysikum, nach dem vierten Semester (Wi. 1972/73) das Physikum an der Universität München. Anfang September 1976 legte ich das medizinische Staatsexamen ab.

